

## 고추역병 예측모델을 위한 맞춤통보용 방제모듈 개발에 대한 고찰

심명선<sup>1</sup> · 임진희<sup>1\*</sup> · 김점순<sup>2</sup> · 유성준<sup>3</sup>

<sup>1</sup>세종대학교 바이오자원공학과, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구센터, <sup>3</sup>세종대학교 컴퓨터공학과

### Development of customized control modules for the model forecasting the occurrence of phytophthora blight on hot pepper

Myung Syun Shim<sup>1</sup>, Jin Hee Lim<sup>1\*</sup>, Jeom-Soon Kim<sup>2</sup>, Seong Joon Yoo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Bioresources Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

<sup>2</sup>Highland Agriculture Research Center, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Pyeongchang 232-955, Korea

<sup>3</sup>Department of Computer Engineering Sejong University, Seoul 143-747, Korea

Received on 16 January 2014, revised on 19 March 2014, accepted on 20 March 2014

**Abstract** : Phytophthora blight occurrence is caused by various environmental factors, and the progress can be regularly predicted so that several predictive models have been developed. The models predict the timing of the disease occurrence, but they do not include the methods of the disease control. Effective fungicide control, control threshold, prediction models were investigated in the study to reflect on customized control modules for the model forecasting the occurrence of *Phytophthora* blight on hot pepper.

**Key words** : Fungicide control, Control threshold, *Phytophthora capsici*

## I. 서론

고추는 조미채소로서 2012년 현재 노지 재배의 경우 전국적으로 45,459ha의 면적에서 재배되고 있으며 연간 104,146톤이 생산되고 있는 경제적으로 중요한 채소 작물이다(MAFRA, 2013). 현재까지 국내에서 보고된 고추에서 발생하는 34종의 식물병 가운데 고추 역병(*Phytophthora capsici*)은 탄저병과 함께 재배과정에서 가장 큰 수량감소를 가져오는 것으로 알려져 있다(KSPP, 2009). 이 병은 묘상부터 전 생육기간에 걸쳐 발생하며 특히 비가 많이 오는 6월 하순부터 8월 말까지 뿌리, 줄기, 잎 및 과실에 발생하여 이어짓기를 하는 밭이나 시설재배에서 고추의 작황을 좌우한다(Lee et al., 2010). 역병의 피해는 고추를 이어짓기함으로써 토양전염되는 역병균의 전염원, 그리고 여름철의 장마에 의한 침수로인해 증가한다(Hwang, 2002). 고추는 농가에 있어 고소득 작물이기 때문에 농가에서 비옥한

경작지에 연작을 하고 있으며 심지어 산간경사지에까지 고추재배지역이 확대되고 있다. 이에 따라 토양 병원균의 증가가 고추재배에 큰 타격을 주고 있는 실정이다(Hwang, 2002). 고추역병균의 토양전염원을 효율적으로 감소시킬 수 있는 방법이 없어서 우리나라의 고추재배지역에서 역병 발생이 자주 일어났으며, 연평균 병발생수율(disease incidence)은 주요 고추재배지역에서 8-25%이었으며 역병발생이 심했던 1986년에는 병발생수율이 60%를 초과한 지역이 조사한 지역의 1/3에 달하였다(Yang et al., 1991).

그러나, 역병은 환경조건에 의해 발생 및 진전이 규칙적으로 이루어져 역병의 발생 예측이 가능하다. 현재 여러 역병 예측 모델들이 개발되어 적용되고 있으며, 이는 관행적인 약제살포에 비하여 약제살포회수의 경감에 의한 경제적 이득뿐만 아니라 농생태계 보호에도 크게 기여하고 있다. 고추 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤통보용 방제모듈을 제시하기 위해 고추역병의 효율적 살균제 방제, 요방제 발병수준, 예측모형 등에 관한 연구들을 조사하고 이후에 관련 내용들을 개발중인 맞춤통보용 방제모듈에 반영하고자 하였다.

\*Corresponding author: Tel: +82-2-3408-4374

E-mail address: jinheelim@sejong.ac.kr

## II. 고추역병의 효율적 살균제 방제

고추역병균은 토양에서 서식하는 병원균으로 토양과 토양의 관개수를 통해서 전파되는 것이 일반적인 방법으로 알려져 있으나, 실제 포장에서는 토양을 통한 전파뿐만 아니라 빗물이나 관개수가 토양에서 튀면서 고추의 지상부도 병원균이 전파되는 것을 쉽게 발견할 수 있다(Hwang, 2002). 난균문에 속하는 고추역병이 고추의 뿌리와 지제부를 통하여 침입하고, 유관속 부위를 감염시키기 때문에 식물이 전체적으로 시들게 된다(Shin et al., 2010). 역병이 포장에서 발생할 때에는 초기에 특정한 지역을 중심으로 병이 발생하기 시작하여 관개수로 전파되어 가기 때문에, 고추밭에서는 이랑을 타고서 역병이 급속도로 전파되는 특징을 보인다(Yeon, 2008). 이러한 역병의 방제로서는 적절한 경종 방법, 재배 작물의 윤작, 저항성 품종 및 접목묘의 사용, 적절한 살균제의 사용 등을 들 수 있지만, 일반 포장에서 농민들이 가장 쉽게 사용하는 방제 방법이 살균제를 사용하는 화학적 방제 방법이다(Kim et al., 2007).

고추역병은 토양살균제를 처리하여 쉽게 방제가 되지 않을 뿐 아니라 병든 포기가 생기게 되면 병원균이 비바람에 의하여 식물체 윗부분에 피해를 일으키게 된다(Hwang, 2002). 그래서, 고추 역병 등록 약제들은 발병 후에는 약제 방제가 매우 어렵기 때문에 사용 적기를 발병 직전, 장마 직전, 또는 발병초 등 예방위주의 방제를 권장하고 있다(Kang et al., 2011). 난균문에 속하는 고추역병균은 난균문에 효과가 우수한 phenylamide계(metalaxyl 등), strobilurin계(kresoxim-methyl, trifloxystrobin 등), 그리고 다양한 작용점을 갖는 살균제(copper 등) 등이 개발되어 사용되고 있다(Shin et al., 2010). 고추역병의 방제를 위해서 사용한 살균제들이 포장에서 과다하게 사용되면서 저항성균의 발현이라는 또 다른 문제를 일으키기도 하였는데, 국내에서도 metalaxyl에 대한 고추 역병균의 저항성 발현에 대한 보고들이 있었다(Kim et al., 2007; Yeon et al., 2008; Lee et al., 2009). 최근에는 국내에서 새로운 구조를 갖는 carboxylic acid amide계(CAA계)의 살균제가 고추 역병균의 방제를 위해서 등록되어 사용되고 있는데, 예방과 치료효과뿐만 아니라 지속효과까지도 가지고 있기 때문에 고추 역병의 체계적인 방제 시스템을 구축하는데 초기와 중기에 처리할 수 있는 살균제로 적합하다(Shin et al., 2010).

고추역병을 효율적으로 방제하기 위해서 10일 간격으로 6번 엽면살포가 현지 농부들에게 권장되었으나, 역병방제를 위해 살균 살포가 효과 없을 때도 많은 것으로 보고되었다(Lee et al., 1991). 고추줄기 주변에 관주하여 살균제를 살포하는 것이 엽면살포하는 것보다 역병방제효과가 더 컸으며, 비가 오기 전에 살포하는 것이 비가 온 후 살포하는 것보다 훨씬 더 방제효과 큰 것으로 나타났다(Kim et al., 1982). 그러나, 살균제의 토양관주는 비교적 가격이 비싸서 농민들에게 실용화되지 못하고 있는 실정이므로, 살포 시기를 고려한 고추역병 방제가 더 효율적일 것으로 사료되었다. 고추품종의 역병에 대한 저항성 수준도 살균제 살포효과에 크게 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 침투성 살균제 metalaxyl은 역병의 직접 방제효과를 보일 뿐만 아니라 phytoalexin인 capsidiol의 생성을 증진시켜 역병억제에 간접적으로 효과를 발휘한다는 실험적 증거들이 발표되었으며(Hwang and Sung, 1989; ; Hwang et al., 1990; Hwang, 1995), 1990년의 포장시험에서 감수성 품종에 6번 metalaxyl을 살포하여도 단지 11% 방제효과를 보였으나 중도저항성, 저항성품종에서는 각각 48%, 56%의 방제효과를 보여 감수성품종의 방제가보다 4-5배 더 방제효과가 큰 것으로 나타났다(Yeh and Kim 1991). Metalaxyl을 3번 살포해서도 감수성과 중도저항성 품종에서 역병을 억제시키지 못하였으나 저항성 품종에서는 효과적으로 역병을 방제하였다. 그러므로, 저항성품종을 재배할 경우 살균제 살포회수를 줄이고 metalaxyl 저항성 발생위험을 감소시켜서 살균제 살포효과를 크게 증대시킬 필요가 있다(Hwang, 2002).

현재 개발중인 고추 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈을 제시하기 위해 난균문에 속하는 고추역병균에 효과적인 살균제들에 대해 알아보고, 효율적인 방제방법들에 대한 연구결과들을 조사하였다. 선행연구의 결과들을 바탕으로 적합한 살균제의 선택 및 예방위주의 방제를 통해 농약 사용량을 절감할 수 있는 방제모듈의 구축이 필요하다.

## III. 고추역병 요방제 발병수준

유기합성 농약의 발달로 농작물에 경제적으로 큰 피해를 주는 많은 식물병은 화학적 방제가 가능하다. 그러나 1997 친환경농업육성법이 제정되면서 국가 정책적으로 화학비

료와 유기합성 농약의 사용량을 줄이기 위한 다양한 시책들이 추진되고 있는데, 특히 농약사용량을 2004년 대비 2013년까지 40%를 절감하고자 하는 친환경농업의 정책목표를 실현하기 위하여 2010년까지 병해충 잡초 100종에 대한 요방제 수준(방제가 필요한 발병 수준)을 설정하고자 2006년부터 2009년까지 매년 10여종의 중요한 식물병에 대한 요방제 수준 설정연구가 추진되었다(NAAS, 2010). 해충의 방제 여부에 대한 의사결정에 이용하는 두 가지 방제수준으로 경제적 방제수준(ET, economic threshold)과 요방제 수준(CT, control threshold)이 있고, 경제적 방제수준이 경제적 피해 수준(EIL, economic injury level)에 근거하고 있는 반면 요방제수준은 피해허용밀도(TIL, tolerable injury level)로부터 산출된다(Iwa and Kiritani, 1973; Kiritani, 1980; Stern et al., 1959). 피해허용밀도는 수량 손실이 전혀 없는 해충밀도나 피해 수준으로 결과적으로 방제 적기 이전에 방제 여부를 판단할 수 있는 해충 밀도이지만, 연구자 따라서는 TIL로서의 임의의 수량 감소를 허용하는 수준의 밀도를 선택하기도 한다(Kiritani, 1980; NAAS, 2003). 이러한 개념을 식물병에까지 확장하여 오이 흰가루병(Kim et al., 2006), 벼 키다리병(Yeh et al., 2008) 등 경제적으로 중요한 작물에 발생하는 식물병에 대하여 요방제수준 설정 연구가 수행되었다.

이러한 사업의 일환으로 2006년부터 2007년까지 고추 역병 발생과 수량 감소의 관계를 구명하고 이를 바탕으로 고추역병 요방제 수준을 설정하고자 연구가 수행되었다(Kang et al., 2011). 고추역병은 잎에 발생하는 식물병과 달리 일단 발생할 경우 직접적으로 수량감소가 발생하며 특히 저항성 품종이나 저항성 대목을 이용한 접목재배가 이루어지지 않을 경우 연작지나 상습 발생포장에서 화학적 방제가 극히 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 이전의 연구(Kawamura and Izumi, 1998; Kiritani, 1980; NAAS, 2003)에서 고추역병의 요방제 수준은 TIL의 정의를 이용하여 5% 수량감소를 가져오는 고추 역병 이병주율(%)로 설정하여 고추역병에 대한 CT를 설정하였으며, Kang et al.(2011) 등은 고추 역병 발생이 적었던 포장(이병주율 5% 이하)에서 수량감소 5%를 가져오는 고추 역병 요방제 수준을 0.8%로 설정하였다.

농약 사용으로 인한 부작용을 최소화하기 위해 정밀 예찰기술 개발과 함께 경제적 피해수준 설정이 선행되어야 하며, 경제적 피해수준 설정은 병해충 종합관리에 있어서

방제의사 결정을 하는 과정에서 고려해야 할 가장 중요한 요소로서(Allen and Rajotte, 1990; Stern et al., 1959) 세계적으로 많은 작물에서 그 기준들이 설정되어 해충방제에 약제사용을 줄이는데 기여하고 있다(Whalon and Croft, 1984). 그러나 병방제의 경제적 방제수준의 개념은 극히 초보적인 단계에 있으며(Kim et al., 2006; Yeh et al., 2008), 고추역병과 같이 화학적 방제가 어렵고 요방제 발병수준 설정이 필요한 사례 등에 관한 연구들도 부족한 형편이다. 현재 개발중인 고추 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈을 제시하기 위해서는 선행연구의 고추역병 요방제 수준을 반영하여 농약 사용량을 절감할 수 있는 방안이 필요하다.

#### IV. 고추역병 예측모델

식물병의 예찰이 가능하다는 것은 학문적인 관심뿐만 아니라, 특정 재배 작물병을 관리해야 하는 농업인들에게 농약 살포시기를 결정하는데 아주 유용하게 이용될 수 있다(Hwang, 2000). 식물병 예찰체계는 구성하고 있는 정보의 형태나 방법에 따라서 경험적인 접근방법(holistic approach, empirical modeling)과 체계분석적인 접근방법(system analytical approach, simulation modeling)으로 나눌 수가 있다(Campbell and Madden, 1990; Shrum, 1978). 경험적인 모형을 이용한 식물병 예찰체계는 감자 역병의 발생 예찰을 위한 BLITECAST(Krause et al., 1975), 잎도열병의 발생조건을 파악하기 위한 BLASTAM (Hayashi and Koshimizu, 1988) 등이 있으며, 기상자료와 병 발생량 또는 병원균의 생태에 관한 실험자료에 기초하여 작성되었다(Hwang, 2000). 기상정보에 의한 주요 식물병 예찰이 꾸준히 연구되어 왔으며, 그 결과 발병을 예측할 수 있는 회귀 모형과 기주와 병해충과 환경의 3요인의 복잡한 상호관계를 체계화하고 세부단계별로 컴퓨터로 simulation하는 등 다양한 시도가 이루어졌다(Kim et al., 1996; Kim, 1995). 국내에서 식물병의 컴퓨터 simulation에 대한 연구에는 벼의 도열병 예찰모델 LEAFBLST (Choi et al., 1988), 감자 역병(Ahn et al., 1998), 고추탄저병(Kim and Park, 1998), 벼 잎집무늬마름병(Do, 1997) 등이 보고되었다.

고추역병에 대한 예측모델들도 여러 연구에 의해 개발되어 소개되었다. Do et al.(2005)은 자기조직지도 분석법을 사용하여 기상 환경 조건들(기온, 강우)에 따른 고추 역병

발생 초기일 패턴을 분석하고 이를 바탕으로 고추 역병의 발생 초기일을 추정하는 모형을 개발하였다. 고추 역병의 초기 발생은 강우 요소들보다는 온도 요소들에 더 영향을 받는 것으로 나타났고, 기상요소들 기준으로 이른 발병, 중간 발병, 늦은 발병 등의 3 그룹으로 분류되었다. 이후에 Do(2009)는 역병 예측 모형에 온도 강우량 그리고 토성자료를 이용하여 토양의 지온과 수분 존재량을 추정하고 역병균의 유주포자 방출 시기를 예측하여, 초기 발생일을 예측함으로써 역병방제 적기를 알려주는 모델을 제시하였다. 역병 발병 정도는 초기 발생일이 앞당겨질수록 발병이 심해지므로, 이 모델에 미래 기후자료를 작용함으로써 발병 변화를 예측하여 기후 변화에 따른 발병 증대, 재배지 변화 등의 대책 수립이 가능한 것으로 보고되었다(Shin, 2011). Hwang(1999)은 고추역병의 경우 기상조건이 발병을 절대적으로 결정하기 때문에 기상환경 자료를 이용한 발병 예측모형을 경험적 접근방법에 의해 만들어 컴퓨터 시스템(PERBLIGHT)을 구축하였으며, 이는 개인용 컴퓨터에 설치할 수 있으면 무인기상관측기가 기록한 미기상 자료를 이용하여 현재의 예상 발병률과 미래의 예상 발병률까지 쉽게 추정할 수 있는 것으로 보고되었다(Hwang and Lee, 2001).

고추역병에 대한 여러 예측모델들이 소개되었는데, 이들은 고추역병 발생일을 예측하여 방제시기를 제시하고 있으나 구체적인 방제방법들에 대한 내용들은 포함하고 있지 않았다. 그러므로, 고추 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈을 제시하기 위해서는 모델에 의해 예측된 고추역병 발생일에 맞춰 적합한 방제방법들의 구체적인 제시가 필요하다.

## V. 고찰

역병은 환경조건에 의해 발생 및 진전이 규칙적으로 이루어져 역병의 발생 예측이 가능하여 현재 여러 고추역병 예측 모델들이 개발되어 적용되고 있다. 그러나, 이들은 고추역병 발생일을 예측하여 방제시기를 제시하고 있으나 구체적인 방제방법들에 대한 내용들은 포함하고 있지 않다. 그러므로, 본 연구에서는 고추 예측 모델에 적합한 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제 모듈에 반영하기 위해 고추역병의 효율적 살균제 방제, 요방제 발병수준, 예측모형 등의 연구들에 대해 조사하였다.

난균문에 속하는 고추역병균에 효과적인 살균제들에 대해 알아보고, 효율적인 방제방법들에 대한 연구결과들을 조사하였다. 고추역병균은 난균문에 효과가 우수한 phenylamide계(metalaxyl 등), strobilurin계(kresoxim-methyl, trifloxystrobin 등), 그리고 다양한 작용점을 갖는 살균제(copper 등) 등이 개발되어 사용되고 있으며, 최근에는 국내에서 새로운 구조를 갖는 carboxylic acid amide계(CAA계)가 초기와 중기에 처리할 수 있는 살균제로 고추 역병균의 방제를 위해 사용되고 있다. 살균제의 방제방법에 대해 알아본 결과, 살균제의 토양관주가 효과는 있지만 가격이 비싸므로 살포시기를 고려한 고추역병 방제가 더 효율적인 것으로 나타났다. 또한, 고추품종의 역병에 대한 저항성 수준도 살균제 살포효과에 크게 영향을 주는 것으로 보고되었는데, 저항성품종을 재배할 때 metalaxyl의 경우 살균제 살포회수를 줄여도 방제효과가 우수했으며 저항성 발생위험도 감소시키는 것으로 나타났다. 농약 사용으로 인한 부작용을 최소화하기 위해 정밀 예찰기술 개발과 함께 병방제의 경제적 방제수준의 개념들에 대한 연구가 더 필요하고, 고추역병과 같이 화학적 방제가 어려운 경우는 요방제 발병수준이 설정되어야 한다. 현재 개발중인 역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈에는 선행연구의 고추역병 요방제 수준을 반영하여 농약 사용량을 절감할 수 있도록 할 필요가 있다.

고추역병에 대한 여러 예측모델들이 소개되었는데, 이들은 고추역병 발생일을 예측하여 방제시기를 제시하고 있으나 구체적인 방제방법들에 대한 내용들은 포함하고 있지 않았다. 그러므로, 고추역병 예측 및 방제에 관한 맞춤형보용 방제모듈을 제시하기 위해서는 예측된 고추역병 발생일에 맞춰 위의 선행연구들의 적합한 방제방법들이 반영되어 구체적으로 제시될 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [10044889, 원예 작물의 전염병(역병) 발생 감시, 예보 및 확산 방지를 위한 실시간 웹기반 원예 전염병(역병) 감시/예측 시스템 개발]

## 참고 문헌

- Ahn JH, Hahm YI, Shin KY. 1998. Modeling for prediction of potato late blight progress. *Plant Pathology Journal* 14:331-338.
- Allen WA, Rajotte EG. 1990. The changing role of extension entomology in the IPM area. *Annual Review of Entomology* 35:379-397.
- Campbell CL, Madden LV. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley and Sons, Inc.
- Choi WJ, Park EW, Lee EJ. 1988. LEAFBLST: A computer simulation model for leaf blast development on rice. *Plant Pathology Journal* 4:25-32.
- Do KS, 1997. Communities within the meteorological data generated using simulation sheath blight. Master Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Do GS, Yun SC, Park EW. 2005. Application of self-organizing map analysis to determine the initial date of late blight occurrence in red pepper fields after overwintering periods. 3<sup>rd</sup> Conference on Agricultural and Forest Meteorology. The Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology 2:74-77.
- Do KS. 2009. A forecasting model for estimating the initial date of the late blight occurrence in pepper fields after overwintering periods. The 2009 KSPP fall meeting and the 1<sup>st</sup> Japan-Korea Join symposium. H-1.
- Hayashi T, Koshimizu Y. 1988. Computer program BLASTAM for forecasting occurrence of rice leaf blast. *Bull. Tohoku Natl. Agric. Exp. Stn.* 78:123-138.
- Hwang BK. 1995. Effects of age-related resistance and metalaxyl on capsidiol production in pepper plants infected with *Phytophthora capsici*. In: Handbook of phytoalexin metabolism and action. ed. by M. Daniel and R.P. Purkayastha. Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 503-523.
- Hwang BK. 2002. Studies of resistance of pepper to Phytophthora blight and its control. *Research in Plant Disease* 8:131-145.
- Hwang BK, Ebrahim-Nesbat F, Ibenthal WD, Heitefuss R. 1990. An ultrastructural study of the effect of metalaxyl on *Phytophthora capsici* infected stems of *Capsicum annuum*. *Pesticide Science* 29:151-162.
- Hwang BK, Sung NK. 1989. Effect of metalaxyl on capsidiol production in stems of pepper plants infected with *Phytophthora capsici*. *Plant Disease* 73:748-751.
- Hwang EH. 2000. A forecasting model of Phytophthora Blight incidence in red pepper and its computer system. Ph.D Thesis, Andong National University, Andong, Korea.
- Hwang EH, Lee SG. 2001. A forecasting model of Phytophthora Blight incidence in red pepper and its computer system. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 3: 16-21.
- Iwa S, Kiritani K. 1973. Background of integrated pest control. In : Sogobojo [Integrated control], ed. by S. Fukaya and K. Kiritani, pp. 29-38, Kodansa, Tokyo.
- Kang HJ, Jeong KH, Ahn KS, Han CU, Kim SH, Kim Y. 2011. Damage analysis and establishment of control threshold for Phytophthora Blight of Hot Pepper (*Capsicum annuum*). *Research in Plant Disease* 17:1-12.
- Kawamura T, Izumi K. 1998. Control threshold of the rice leaf roller moth, *Cnaphlocrociis medinalis* Guenee (Lepidoptera: Pyralidae) using leaf color and adult density. *Bull. Yamaguchi Agri. Expt. Stn.* 49:25-31. (In Japanese)
- Kim KR. 1995. Microclimate communities using data from a live surveillance system in the development of rice blast. Master Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Kim CH, Cho WD, Kim SC. 1982. An investigation of the control or red pepper fruit rot caused by *Phytophthora capsici* Leonian. *Res. Rep. ORD* 24:46-50.
- Kim CH, Park KS. 1998. A predictive model of disease progression of red-pepper anghracnose. *Plant Pathology Journal* 4:325-331.
- Kim JY, Hong SS, Lee JG, Park KY, Kim HG, Kim JW. 2006. Determinants of economic threshold for powdery mildew on cucumber. *Research in Plant Disease* 12:231-234.
- Kim KR, Park EW, Yang JS, Kim SK, Hong SS, Yun JI. 1996. Development of an integrated system for agricultural meteorological data acquisition and plant disease forecasting. *Plant Pathology Journal* 12:121-128.
- Kim SB, Lee SM, Min GY, Kim HT. 2007. Response to metalaxyl of *Phytophthora capsici* solates collected in 2005 and 2006. *The Korean Journal of Pesticide Science* 11: 305-312.
- Kiritani K. 1980. Integrated insect pest management for rice in Japan. In : Proceedings International Symposium on Problems of Insect Pest Management in Developing Countries, pp. 13-22, Tropical Agriculture Research Center, Kyoto, Japan.
- Krause RA, Massie LB, Hyre RA. 1975. BLITECAST: A computerized forecasting of potato blight. *Plant Disease Report* 59:95-98.
- KSPP (Korean Society of Plant Pathology). 2009. Korea plant disease encyclopedia. Fifth Edition. Korean Society of Plant Pathology 853 pp.
- Lee HU, Kim CH, Nam KW. 1991. Suppression of Phytophthora blight incidence of red pepper by cropping system. *Korean Journal of Plant Pathology* 7:140-146.
- Lee SJ, Park YJ, Kim HT, Kim BS. 2010. The race differentiation of *Phytophthora capsici* in Korea. *Research in Plant Disease* 16:153-157.
- Lee SM, Shin JH, Kim SB, Kim HT. 2009. Characteristics of *Phytophthora capsici* causing pepper Phytophthora blight resistant to metalaxyl. *The Korean Journal of Pesticide Science* 13:283-289.
- MAFRA. 2013. Status of protected vegetables in greenhouse and vegetable production performance 2012. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs 11-1543000- 000051-10
- NAAS(National Academy of Agricultural Science). 2003. Workshop of economic threshold. 39 pp.
- NAAS(National Academy of Agricultural Science). 2010. Research report of major pest weed control level settings required

- (2009). 282 pp.
- Shin JH, Kim JH, Kim HJ, Choi YK, Kim AY, Lee KH, Rho CW, Kim HT. 2010. Control efficacy of carboxylic acid amide fungicides against pepper Phytophthora blight causing *Phytophthora capsici*. The Korean Journal of Pesticide Science 14:463-472.
- Shin JW. 2011. Elevated CO<sub>2</sub> and temperature impact on chili pepper disease. Sun Moon University. Department of applied Biological Science. Master degree.
- Shrum RD. 1978. Forecasting of epidemics. Plant Disease 2: 223-238.
- Stern VM, Smith RF, van den Bosch R, Hagen KS. 1959. The integrated control concept. Hilgardia 29:81-101.
- Sung NK, Hwang BK. 1988. Comparative efficacy and *in vitro* activity of metalaxyl and metalaxyl-copper oxychloride mixture for control of Phytophthora blight of pepper plants. Korean Journal of Plant Pathology 4:185-196.
- Whalon ME, Croft BA. 1984. Apple IPM implementation in North America. Annual Review of Entomology 29:435-470.
- Yang SS, Kim CH, Cho EK, Lee EJ. 1991. Distribution and characteristics of suppressive soil to Phytophthora blight of red pepper in Korea. Res. Rep. RDA 33:18-22.
- Yeh WH, Kim CH. 1991. Integrated management of Phytophthora blight red pepper by host resistance and fungicide application. Korean Journal of Plant Pathology 7:226-229.
- Yeh WH, Par HHk, Nam YJ, Kim SA, Lee JH, Shim HS, Kim YK, Lee YH, Lee YH. 2008. Establishment of economic threshold by evaluation of yield component and yield damages caused by Rice Leaf Blast (*Magnaporthe grisea*). Research in Plant Disease 14:21-25.
- Yeon CL, Lee SM, Kim SB, Min GY, Kim HT. 2008. The change of resistance of *Phytophthora infestans* to metalaxyl and the relationship with the pathogenicity on pepper plants. The Korean Journal of Pesticide Science 12:270-276.